

I.F.9

Atom- und Kernphysik

„Radium Girls“ – eine Unterrichtseinheit zur Kernphysik

Dr. Kerstin Reinecke



© RAABE 2023

© characterdesign/E+

Die Geschichte der „Radium Girls“ dient als roter Faden, um anhand der biologischen Wirkung von radioaktiver Strahlung deren Eigenschaften zu erarbeiten. Diese jungen Frauen bemalten von Beginn des 1. Weltkriegs an bis in die späten 1920er Jahre hinein zu Tausenden in den Fabriken die Zifferblätter und Zeiger der selbstleuchtenden Uhren. Ihre Maltechnik, die ihnen in der Fabrik gezeigt worden war, zerstörte ihre Gesundheit und ihr Leben. Diese Einheit wirft neben den physikalischen Fakten auch die Frage nach der gesellschaftlichen Verantwortung im Umgang mit Radioaktivität auf.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe: 10, Sek. II

Dauer: 7–16 Unterrichtsstunden

Kompetenzen: Texte erfassen, Hypothesen formulieren, Vergleiche anstellen, Versuche entwerfen, Experimente durchführen

Thematische Bereiche: Kernphysik, Eigenschaften und biologische Wirkung von radioaktiver Strahlung, gesellschaftliche und arbeitsschutztechnische Relevanz, Entstehung radioaktiver Strahlung, Halbwertszeit, Hintergrundstrahlung, Kernzerfälle, Nuklidkarte

Medien: Tablets, Filme, Experimentiermaterialien, Internet, Taschenrechner

M 1



Die „Radium Girls“

Für Katherine Schaub, 14, wurde ein Traum wahr. Aufgeregt begann sie im Februar 1917 ihren ersten Arbeitstag bei der US Radium Corporation. Die Firma hatte ihren Sitz in der 3rd Street in Newark (US-Bundesstaat New Jersey) und eine weitere Niederlassung in der Stadt Orange. Was Schaub nicht ahnte: Sie und ihre Kolleginnen hatten einen verhängnisvollen Fehler begangen. Die „Radium Girls“ wurden die Arbeiterinnen genannt; stolz sprachen sie davon, dass sie im „Atelier“ tätig waren. Dass ihr neuer Job etwas Besonderes, ja Geheimnisvolles war, merkte Katherine Schaub auch, als sie an diesem 1. Februar 1917 in der Dämmerung heimging: Ein goldener Schimmer umgab das Mädchen in der Dunkelheit, ihre Haare schienen zu leuchten.

Schaubs Aufgabe im „Atelier“ war es, mit einer selbstleuchtenden Farbe Zifferblätter zu bemalen. Von Uhren, ebenso von Flugzeuginstrumenten, deren Ziffern nachts leuchten mussten. Jede Arbeiterin mischte ihre eigene Farbe an. In einen Tiegel gab sie Wasser, Gummi Arabicum, Zinn und eine besondere Substanz: Radium. Auf geradezu mystische Weise entstand eine grün-weiße, hell leuchtende Farbe. Der Effekt war atemberaubend.

Die Farbe enthielt nur geringe Spuren Radium. Aber die Partikel setzten sich überall fest, auf den Arbeitsplatten, in den Haaren, in der Kleidung. Von der Straße aus bemerkten Passanten, dass ein goldener Schein die Frauen in dem Raum umgab, wo sie die Zifferblätter prüften. „Sie sahen wie Engel aus einer anderen Welt aus“, berichtete einer.

Die britische Autorin Kate Moore hat für ihr Buch „The Radium Girls“ monatelang Briefe der Frauen, Gerichtsakten, Tagesblätter und Zeitungsartikel zusammengetragen und mit vielen ihrer Verwandten gesprochen. Herausgekommen ist eine einzigartig detaillierte Chronik des Radium-Skandals.

Radium als Potenzmittel

1898 hatten Marie und Pierre Curie das Element Radium entdeckt. Bald schon galt es als „größte Entdeckung der Geschichte“ – und als teuerste Substanz der Welt. Aus einer Tonne Erz gewann man in einem mühsamen Verfahren gut fünf Milligramm Radium. Ein einziges Gramm kostete nach heutigem Wert rund 2,2 Millionen US-Dollar. Eine regelrechte Gier nach dem „flüssigen Sonnenschein“ setzte ein.

Ganz ähnlich wie in den frühen Jahren nach Entdeckung der Röntgenstrahlung ahnte man noch nichts von den gefährlichen Nebenwirkungen. Radium galt – nicht nur in den USA – als lebensretzend und gesundheitsfördernd, es schien für alles gut: als Medikament gegen Gicht, Verstopfung oder Heuschnupfen, sogar als Potenzmittel.

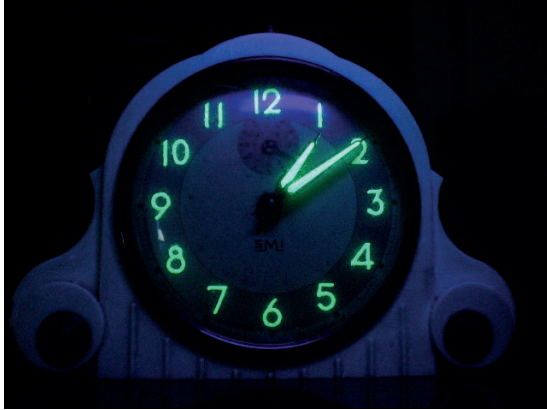


Foto: Daily Herald Archive/Getty Images

Was leuchtet in der Farbe?

M 2

Die Zifferblattmalerinnen mussten sich die Leuchtfarbe zum Bemalen der Uhren selbst anrühren. Das radiumhaltige Pulver musste mit verschiedenen Stoffen versetzt werden, um eine malbare Farbe zu erhalten. Dies barg die zusätzliche Gefahr, Radium einzuatmen.



© Arma95/wikimedia.org



The Power of Radium at Your Disposal

Twenty-three years ago radium was unknown. Today, thanks to constant laboratory work, the power of this most unusual of elements is at your disposal. Through the medium of Undark, radium serves you safely and surely.

Does Undark really contain radium? Most assuredly. It is radium, combined in exactly the proper manner with zinc sulphide, which gives Undark its ability to shine continuously in the dark.

Manufacturers have been quick to recognize the value of Undark. They apply it to the dials of watches and clocks, to electric push buttons, to the buckle of bed room slippers, to house numbers, flashlights, compasses, gasoline gauge autometers and many other articles that you frequently wish to see in the dark.

The next time you fumble for a lighting switch in the dark, or your shins on furniture, wonder vainly what time it is in the dark—remember Undark. It shines in the dark. Undark can supply you with Undarked articles.

For interesting little folders telling of the production of radium and the uses of Undark, write for them to:

RADIUM LUMINOUS MATERIAL CORPORATION
 58 PINE STREET, NEW YORK CITY
 PHOSPHOR Division

UNDARK
Radium Luminous Material
 Shines in the Dark

To Manufacturers
 The number of manufacturers of Undark will increase. The business is big. Undark, at sales standpoints, it has many obvious advantages. We gladly answer inquiries from manufacturers and, when it seems advisable, will carry on experimental work for them. Undark may be applied either at your factory or at our own.

The application of Undark is simple. It is furnished as a powder, which is mixed with an adhesive. The paste thus formed is painted on with a brush. It adheres firmly to any surface.

Autor unbekannt, bearbeitet von Struthious Bandersnatch © wikimedia.org (gemeinfrei)

Aufgaben

1. Recherchiere die Zusammensetzung radioaktiver Leuchtfarbe.
2. Beschreibe, welcher Bestandteil leuchtet und welcher Bestandteil die Energie für das Leuchten liefert.



Die Eigenschaften von Calcium

M 4

Sicherheitshinweis: Trage bei allen Versuchen eine **Schutzbrille!**

- Benötigt:**
- Calcium in Körner- oder Pulverform (H 261; P 223–232, 501, 402+404)
 - Reagenzglas
 - Bunsenbrenner
 - Petrischalen
 - Calciumcarbonat (kein Gefahrstoff)
 - Magnesiastäbchen
 - destilliertes Wasser
 - verdünnte Salzsäure (1 mol/l) (H290; P 234, 390)



Schülerversuch 1: Die Reaktion von Calcium mit Wasser

Die Zündflamme des Bunsenbrenners wird entzündet. In ein Reagenzglas wird ein Reagenzglas voll Wasser gefüllt. Dazu wird ein Spatel Calciumkörner gegeben. Zunächst wird die Reaktion beobachtet. Dann wird sehr zügig das entstehende Gas an der Zündflamme des Bunsenbrenners entzündet.



Dokumentiere deine Beobachtungen.

Schülerversuch 2: Die Flammfärbung des Calciums

Das Magnesiastäbchen wird mit Wasser befeuchtet und dann in Calciumcarbonat getaucht. Das Magnesiastäbchen wird dann mit dem Calciumcarbonat daran in die nicht leuchtende Flamme des Bunsenbrenners gehalten.



Dokumentiere deine Beobachtungen.

Schülerversuch 3: Die Reaktion von Calciumcarbonat mit Salzsäure

Etwas Calciumcarbonat wird in eine Petrischale gegeben. Dann werden einige Tropfen 1 M Salzsäure hinzugefügt.



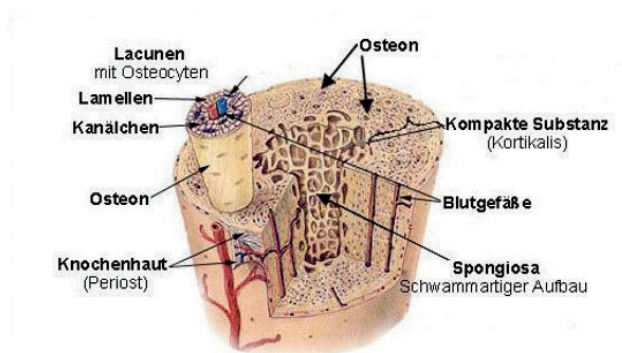
Dokumentiere deine Beobachtungen.

Einbau von Radium in den Knochen

M 6



Knochen ist ein Gewebe, das unter anderem Hydroxylapatit enthält. Die Knochensubstanz bildet die Hauptmasse des Knochens. Sie erhält ihre große Festigkeit durch den Kalkgehalt, der bis zu 70 % ihres Gewichtes betragen kann. Die Knochensubstanz tritt hauptsächlich in zwei Formen auf: der *Substantia compacta* und der *Substantia spongiosa*.



Quelle: <http://www.science-blog.at/2012/07/chronische-entzuendungen-sind-aus-forschung-von-knochenstoffwechsel/>

Die *Substantia compacta* (kompakte Substanz) ist eine harte, weißliche Masse, die in erster Linie einen dicken Mantel um den Markraum der langen Röhrenknochen (zum Beispiel den Oberschenkel- oder Oberarmknochen) bildet. Die spongiöse oder „schwammartige“ Knochensubstanz hingegen besteht aus feinen, zarten Bälkchen, die man in kurzen, platten Knochen (beispielsweise den Wirbelkörpern) findet. Die Knochensubstanz besteht aus Knochenzellen (Osteozyten). Diese sind durch Zellfortsätze miteinander verbunden. Die Bildung neuer Knochen (Osteoblasten) wird neuer Knochen aufgebaut. Der Abbau des Knochengewebes wird von den sogenannten Osteoklasten durchgeführt.

Quelle: https://www.kinderkrebsinfo.de/erkrankungen/weitere_solide_tumoren/osteosarkom/knochenaufbau_und_funktion/aufbau_der_knochen/index_ger.html

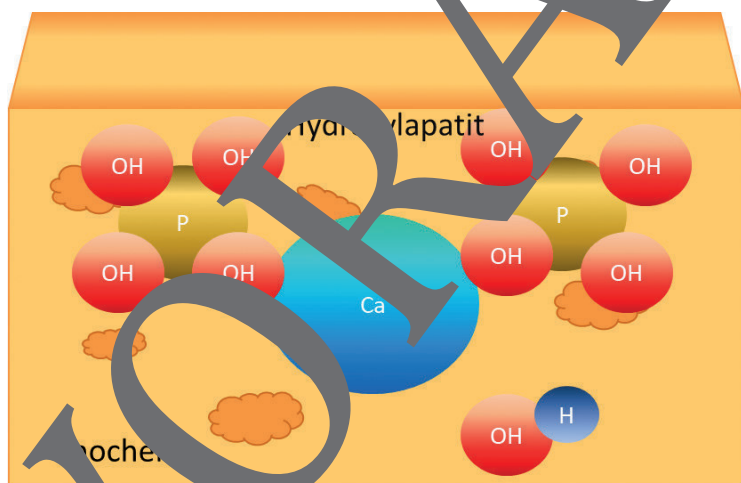


Abbildung: Kerstin Reinecke

Hydroxylapatit: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$

Aufgabe

Erläutere anhand der Eigenschaften von Radium und Calcium, wieso Radium anstelle des Calciums in den Knochen eingebaut wird.

M 7

Die biologische Wirkung radioaktiver Strahlung – ein Lernplakat erstellen



Radioaktive Strahlung transportiert Energie. Trifft die Strahlung auf Materie, so können die Atome und Moleküle die Energie aufnehmen. Das führt dazu, dass die Teilchen ionisiert werden, also danach positiv oder negativ geladen sind, oder wenigstens angeregt werden, also die Energie aufnehmen, ohne eine Ladung zu tragen.

Nicht nur unbelebte Materie tritt in Wechselwirkung mit radioaktiver Strahlung. Auch organisches Material und Lebewesen nehmen die Energie der Strahlung auf. Auch die Teilchen von Gewebe werden ionisiert oder angeregt. Dabei können ihre Bindungen zueinander aufbrechen oder Atome zerfallen. Chemische oder biochemische Reaktionen können nun in den Zellen stattfinden. Auch ist es möglich, dass geladene Moleküle oder Atome nicht mehr so am Stoffwechsel teilnehmen, wie es für dessen Funktion nötig ist. Dies kann einzelne Organe beeinflussen, aber auch den Körper insgesamt stören.

Auf der Haut kann intensive Strahlung zu Schädigungen führen, die einem Sonnenbrand gleichen. Die Temperatur der betroffenen Körperteile erhöht sich durch die aufgenommene Energie.

Mehr noch als Strahlung, die von außen wirkt, kann Strahlung, die im Körper wirkt, Schäden anrichten. Das passiert, wenn radioaktive Stoffe aufgenommen werden, man spricht von Inkorporation. Dabei werden unterschiedliche Stoffe auf unterschiedliche Art und Weise aufgenommen. Einige radioaktive Stoffe werden gleichmäßig im Körper verteilt, dazu gehört Cäsium. Andere reichern sich in bestimmten Organen an, z. B. Iod in der Schilddrüse.

Weitere Aspekte spielen für die Wirkung der Strahlung auch eine Rolle. So haben die unterschiedlichen Strahlungsarten eine unterschiedliche biologische Wirkung. Die Schädigung hängt von der Strahlungsstärke, der Dauer des Strahlungseinflusses und dem Körpervolumen ab. Auch sind die Organe unterschiedlich empfindlich.

Die Schädigungen lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- **Somatische Frühschäden**
- **Somatische Spätschäden**
- **Genetische Schäden**

Aufgabenstellung

1. **Recherchiere** die Gründe für den unterschiedlichen Einfluss von α -, β - und γ -Strahlung auf Organismen.
2. **Recherchiere** die drei unterschiedlichen Formen von Schädigungen. **Beschreibe** diese und **gib** jeweils Beispiele.
3. **Recherchiere** die Abwehrmechanismen von Organismen gegenüber Schädigungen durch radioaktive Strahlung.
4. **Erstelle** mithilfe der recherchierten Informationen und des Infotexts der Aufgabenstellung ein Lernplakat. Dies kann entweder digital erstellt werden oder in Papierform. In Papierform sollte es nicht größer sein als DIN-A3.



Abbildung: characterdesign/E+

Wie gefährlich sind die Uhren?

Dass **Radium grundsätzlich extrem gefährlich** ist, steht außer Frage: Unter Uhrenfreunden ist die tragische Geschichte rund um die sogenannten Radium Girls hinlänglich bekannt – die in der Uhrenindustrie tätigen Damen, die ab ca. 1920 händisch Radium auf Zifferblätter auftrugen und zwischen jeder Uhr ihren Pinsel mit dem Mund anspitzten, litten fast allesamt an Krankheitsbildern wie Anämie, Knochenbrüchen und Nekrose des Kiefers, viele starben einen qualvollen Tod. Erst durch die Radium Girls wurden die Gefahren, die von Radium ausgingen, damals überhaupt bekannt. Aber wie gefährlich kann Radium nach 70, 80, 90 oder vielleicht sogar 100 Jahren noch sein, wenn es nur in allen in den vergleichsweise winzigen Mengen, die beim Zifferblatt und den Zeigern einer typischen Vintage-Uhr zum Einsatz kommen?



Tatsächlich findet man im Internet häufig die folgenden Aussagen, welche völliger Humbug sind: „Die Radiummenge auf so einem Zifferblatt ist so verschwindend gering – da passiert schon nichts!“

„Lutsch halt nicht am Zifferblatt und knabbel nicht zum Fernsehabend auf der Couch an den Zeigern, dann kann auch nichts passieren!“

Nur der Uhrmacher muss verdammte aufpassen, wenn er die Uhr (zum Beispiel im Rahmen einer Revision) öffnet – die Leuchtmasse ist über die Jahrzehnte bröselig geworden und kann leicht eingeatmet werden. Aber andersherum wirkt das Gehäuse aus Sicht des Uhrenträgers schützend!

Studie: So gefährlich sind Vintage Radiumuhren heute noch

In der 2018 erschienenen und u. a. von der UNESCO geförderten Studie „Radon, Health and Natural Hazards“ von der **University of Northampton** und der **Kingston University** wurde u. a. der Frage nachgegangen, ob Radiumuhren tatsächlich **heute noch gesundheitsgefährlich** für ihre Besitzer sein können.

Im Studienkapitel „Radon as an anthropogenic indoor air pollutant as exemplified by radium-dial watches [...]“ untersuchen die Autoren Robin Crockett und Gavin Gillmore insgesamt **30 Vintage Armbänder und Taschenuhren verschiedenster Marken aus England, USA und der Schweiz** (darunter die Marken Cyma, Newmark, Moeris und Ingersoll). Alle in der Studie berücksichtigten Uhren sind **Zifferblatt und Zeiger, die mit Radium als Leuchtmasse belegt sind**.

Neben der Uhrenkollektion als Ganzes wurden auch sechs Uhren einzeln hinsichtlich ihrer radioaktiven Strahlung geprüft.



Aufgaben

1. **Finde** Vergleiche für die Größenordnungen im Atomkern
2. **Arbeite** mit „Build an Atom – Baue ein Atom“.

Öffne die Simulation „Build an Atom“ auf der Website von Phet:

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/build-an-atom>

Gehe zunächst auf „Atom“. Baue aus Protonen, Neutronen und Elektronen zunächst neutrale Atome, achte darauf, welche Elemente entstehen. Teste dann, welche Ladungen die Ionen tragen, wenn du Elektronen zufügst oder wegnimmst. **Notiere** zu drei deiner Atome den Aufbau des Atomkerns in Nuklidschreibweise.

Beispiel für Helium

Build an Atom

1. **Gehe dann auf „Symbol“**. Baue aus Protonen, Neutronen und Elektronen zunächst neutrale Atome, achte darauf, welche Elemente entstehen. Teste dann, welche Ladungen die Ionen tragen, wenn du Elektronen zufügst oder wegnimmst. **Notiere** zu drei deiner selbstgebauten Atome den Kernausbau in Nuklidschreibweise.
- Beispiel für Helium

Build an Atom

2. **Gehe dann auf „Game“**: Das Spiel ist selbsterklärend, probiere es aus.
3. **Erläutere** die Schreibweise ${}^9_4\text{Be}$.
4. **Nenne** von folgenden Atomen A, Z und N sowie die Elektronenzahl der Hülle: ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{137}_{55}\text{Co}$, ${}^{208}_{82}\text{Pb}$; K – 40, Co – 60, Pb – 206 .
5. **Nenne** gemeinsame und unterschiedliche Eigenschaften von Isotopen.
6. Einige Isotope von Blei haben 122, 124, 125, 126 Neutronen. **Nenne** die Schreibweise.

Die **Nuklidkarte** ist ein Hilfsmittel, um das Ergebnis der Zerfälle leicht zu finden. Für einen Alpha-Zerfall geht man zwei Kästchen nach unten und zwei Kästchen nach links.

Probiere es aus:

Notiere nochmal die Zerfallsreaktion von Th-230 aus Material **M 9**:

Gehe nun in die Nuklidkarte zu Th-230 und gehe zwei Kästchen nach unten und zwei Kästchen nach links. Notiere das gefundene Isotop.

Vergleiche die Ergebnisse.

Auch das Isotop aus einem Beta-Zerfall lässt sich so gut finden. Man geht von dem Ausgangsisotop ein Kästchen nach oben und ein Kästchen nach links.

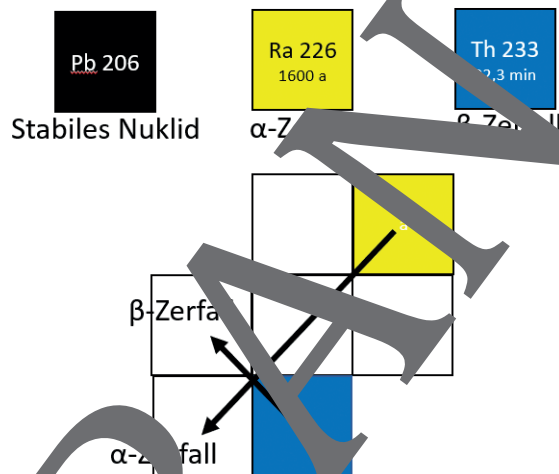


Abbildung: Kerstin Reinecke

Unter folgendem Link findest du eine Nuklidkarte:

<https://raabe.cuev.de/physik-strahlung-01>

Aufgaben

1. **Notiere** die Zerfallsreihe ausgehend von Ra-226.
Erläutere ausgehend von dieser Zerfallsreihe, welche Isotope in der Farbe der Uhren entstehen.
Bezug zu dem Text aus Material **M 12** und **erläutere**, von welchen dieser Isotope besondere Gefahren ausgehen.
3. **Notiere** die sogenannte Uran-Radium-Zerfallsreihe ausgehend von U-236. **Nutze** dazu eine Nuklidkarte aus deinem Lehrbuch oder von obenstehendem Link.



Das Geiger-Müller-Zählrohr

M 11



Mit keinem der menschlichen Sinne ist radioaktive Strahlung wahrnehmbar. In den 1920er-Jahren haben die Physiker Hans Geiger und Walther Müller ein Messgerät zur Detektion radioaktiver Strahlung entwickelt, das sogenannte Geiger-Müller-Zählrohr.

Durch ein Glimmerfenster fällt die radioaktive Strahlung in ein Metallrohr. Glimmer ist ein Mineral, das in leicht splitternden Schichten aufgebaut ist. In dem Metallrohr befindet sich ein Draht, der gegen den Metallmantel isoliert befestigt ist. Zwischen diesem Draht und dem Rohr liegt eine Spannung von etwa 500 Volt an. Die radioaktive Strahlung trifft in dem Zähler auf ein Gas, meistens Argon oder Krypton. Dieses Gas wird durch die Strahlung ionisiert, das bedeutet, es entstehen Elektronen und positiv geladene Ionen. Entsprechend ihrer Ladung werden die negativ geladenen Elektronen zum positiv geladenen Draht, die positiv geladenen Ionen zum negativ geladenen Metallmantel hingezogen. Sie erhalten im elektrischen Feld Energie und werden beschleunigt. Diese Energie geben die geladenen Teilchen bei Stößen mit ungeladenen Gasatomen ab und ionisieren diese (Stoßionisation). So entstehen noch mehr geladene Teilchen, die beschleunigt werden. Man spricht von einem Lawineneffekt. Es entstehen dadurch genug Ladung, um einen Strom messen zu können. Dieser Strom fließt über einen Widerstand. Von dort kann die Strahlung durch einen Lautsprecher als Knacken hörbar gemacht oder gezählt werden. Fließt ein Strom durch einen Widerstand, so fällt an diesem eine Spannung ab ($U_R = R \cdot I$). Diese Spannung ist der anliegenden Beschleunigungsspannung entgegengerichtet. Die geladenen Teilchen werden gestoppt, es kann keine Stoßionisation mehr stattfinden. Der Strom bricht zusammen. Das Zählrohr kann nun für eine kurze Zeit (meist weniger als eine Millisekunde) nicht mehr auf radioaktive Strahlung reagieren. Die beschleunigende Spannung muss sich erst wieder aufbauen, wenn die entgegengerichtete Spannung wegfällt. Man spricht von der Totzeit des Zählrohrs.

Aufgaben

1. **Benenne** die Bestandteile des Geiger-Müller-Zählrohrs in der Skizze.

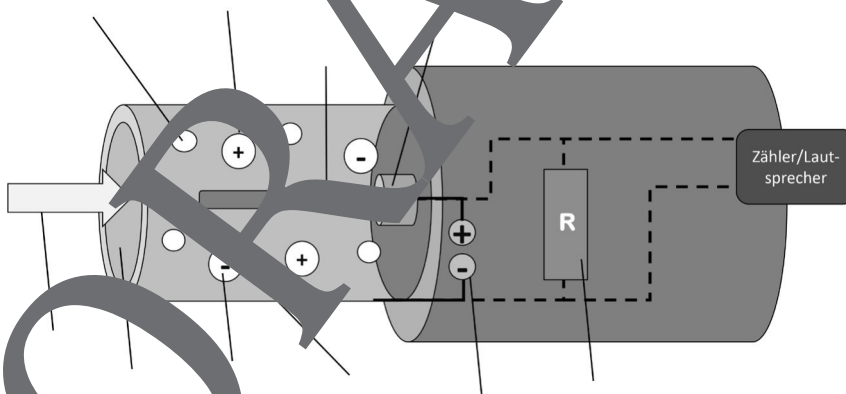


Abbildung: Kerstin Reinecke

2. **Beschreibe**, was die Strahlung nach Eintreten durch das Glimmerfenster im Rohr bewirkt.
3. **Erläutere** die Funktion der Spannung, die zwischen Metalldraht und Metallmantel anliegt. Beschreibe dabei die Lage von Plus-Pol und Minus-Pol.
4. **Stell dir eine Hypothese** auf, warum die Spannung relativ groß sein muss.
5. **Erläutere** die Abläufe am Widerstand im Zählrohr.
6. **Beschreibe**, worum es sich bei der Totzeit handelt.

M 12



Die Nullrate

Schülerversuch: Messung der Nullrate mit dem Inspector

Falls es eine Halterung gibt, **schiebe** den Inspector zunächst in diese Halterung und **stelle** das Gerät dann frei auf den Tisch. **Schiebe** den Schieberegler unten rechts (1) auf die Position „Audio“. **Achte** darauf, dass der Mode Switch oben rechts (2) auf Total/Timer steht.



Abbildung: Kerstin Reineck

Höre zunächst **zu** und **beobachte** den LCD-Bildschirm.
Notiere deine Beobachtungen.

Beim Inspector handelt es sich um ein sehr empfindliches Geiger-Müller-Zählrohr. Er misst radioaktive Ereignisse als Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung. Jeder Ton und jedes Hochzählen ist ein radioaktives Ereignis. Man spricht von der Zählrate, wenn sich die Anzahl der radioaktiven Ereignisse

(Impulse) auf einen Zeitraum bezieht, z. B. $\frac{\text{Impulse}}{\text{Minute}}$.

Erstaunlich ist jedoch, dass es selbst dann ein wenig Radioaktivität misst, wenn gar keine Quelle in seiner Nähe ist. Dies nennt man die Nullrate.

Recherchiere, was die sogenannte Nullrate ist.

Auf der Oberseite des Inspectors findest du den Set Button für den Timer (3). **Halte** ihn gedrückt und **stelle** mit Hilfe der Plus- und Minus-Buttons die Messzeit auf drei Minuten (Anzeige: 00:03). Um eine Messung zu starten, muss nun der Schieberegler des Timers (4) auf „On“ gestellt werden.

Sie wollen mehr für Ihr Fach?

Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



Über 5.000 Unterrichtseinheiten
sofort zum Download verfügbar



Webinare und Videos
für Ihre fachliche und
persönliche Weiterbildung



Attraktive Vergünstigungen
für Referendar:innen
mit bis zu 15% Rabatt



Käuferschutz
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:
www.raabe.de